

МИКРОСТРУКТУРА МЕТАЛЛА В БЕНКУББИНИТАХ

Металлические фазы присутствуют во всех классах метеоритов, а особенности их состава и структуры содержат информацию о процессах метаморфизма вещества в космических и земных условиях. В обыкновенных хондритах крупные металлические частицы либо однородны по составу (обычно это камасит), либо неоднородны (тэнит) с возрастанием процентного содержания Ni в периферийных участках. Такое распределение объясняется достижением равновесия в металле за счёт диффузии атомов Ni по межфазным границам силикатных составляющих хондритов.

В последнее время очень активно изучаются металлические частицы с необычным распределением Ni, Co, Cr. Такое распределение Ni (около 8- 13% Ni в центре частицы и 3-5% по краю) было идентифицировано в ряде примитивных хондритов, образующих CR-клан. Представители этого ряда: CH-, CR-, CB-хондриты и бенкуббиниты- относятся к классу углистых хондритов.

Большая часть образцов этих примитивных хондритов была обнаружена недавно при изучении внеземного вещества, собранного как в жаркой (Сахара, Австралия, США), так и в холодной (Антарктида) пустынях. Необычный бенкуббинит был найден в 2004 году в Башкирии и получил название Ишаево. Содержание металлических зёрен в этом метеорите колеблется от 50 до 70 объёмных процентов. Состав металла следующий: Ni- 4.2-8.4 мас.%, Co- 0.2-0.5 мас.% и Cr- 0.003- 0.6 мас.%.

Большинство работ по изучению металла бенкуббинитов посвящено анализу распределения различных сидерофильных элементов по сечению зерна. По этим данным [1,2] предлагается гипотеза, объясняющая необычное распределение металла. Она предполагает конденсацию твёрдого вещества из газового облака в условиях резкого понижения температуры облака от 1100 °С и при малом давлении 0,0001 атм.

Специальное микроструктурное исследование выполняли лишь в двух работах [3,4]. Под микроскопом видно, что частицы металла и силиката имеют нерегулярную форму (угловую и близкую к кругу) и их размер меняется от 50 до 350 мкм. Они являются поликристаллическими с хорошо выделенными границами зёрен. Одни металлические частицы содержат очень мало включений, как металлических, так и неметаллических, другие же наоборот изобилуют микровключениями размером от 20 до 200 мкм.

Среди металлических частиц в бенкуббинитах можно выделить пять типов частиц.

«Зональные конденсаты» - это те частицы, у которых центральная область обогащена Ni и Co и обеднена P, Cr и Fe. Электронная микроскопия зерна в PAT91546 показала наличие полосчатой структуры в центре частицы с со-

держанием Ni порядка 10%. Наблюдаются линии Неймана, сформировавшиеся при относительно малой интенсивности ударного воздействия.

«Зональные конденсаты» с выделениями - это частицы, центральная область которых также обогащена Ni, однако существуют данные оптического анализа о присутствии выделений из твердого раствора, богатых Ni и обеднённых Co и P. В NWA739 размер таких частиц составляет от 1-2 мкм до 200 нм. При этом Ni распределён классически в форме буквы «М». Также наблюдается выделение на границах зёрен и зернограницная диффузия.

Незональные гомогенные частицы - это частицы камасита с содержанием Ni 4-6% и Co-0.45±0.05%. Они не содержат выделений других фаз. Несколько частиц рекристаллизованы и поликристалличны, с различной ориентацией зёрен в частице.

Незональные частицы, содержащие выделения - это частицы, в которых не наблюдается зонирования по Ni, но содержание Ni в них больше, чем в гомогенных металлических частицах. Эти частицы содержат богатые Ni выделения с размером частиц порядка микрона. P и Co в целом убывают при росте содержания Ni как результат выделения фаз из твёрдого раствора при повторном нагреве.

Тетрагэнит - металлическое зерно с содержанием Fe-Ni 50-50 наблюдалось в ALH85085. Частица маленького размера, 10-20 мкм, содержание в ней Co порядка 0.15%, а Cr- 0.015%.

Удивительным является то, что наряду с зональными металлическими частицами в одном образце наблюдаются другие типы металлических частиц. Вместе с тем поликристаллические частицы камасита с выделениями второй фазы и уменьшением процентного содержания Ni в периферийных участках наблюдались ранее в H-хондритах [5] и железных метеоритах как результат реакции прерывистого распада камасита и тэнита при низких температурах. В более поздних работах этот процесс был объяснён выветриванием в земных условиях при активном долговременном воздействии природной среды и диффузии окислительных ионов по межфазным границам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Goldstein J.I., Jones R.H., Kotula P.G., Michael J.R.// Microstructure and thermal history of metal particles in CH chondrites, XXXVI LPSC, #1391, 2005
2. Weisberg M.K., Prinz M., Clayton R.N. et al // A new metal- rich chondrite grouplet, 2000
3. Petaev M.I. et al//The ZONMET thermodynamic and kinetic model of metal condensation, Geochim. Cosmochim. Acta, V. 67, P. 1737-1751, 2003
4. Reisener R., Meibom A. // Microstructure of condensate Fe- Ni metal particles in the CH chondrite PAT91546, XXXI LPSC, #1445, 2000
5. Axon H.J., Grokhovsky V.I. //Discontinuous precipitation reaction in the metal of Richardton chondrite. Nature, V. 296, P. 835-837, 1982